

# Mykorrhiza i landbruksjord

NORSØK FAGINFO Nr. 6 2018

Norsk senter for økologisk landbruk

Reidun Pommeresche, Norsk senter for økologisk landbruk og Theo Ruissen, pensjonert forsker fra NIBIO.

Kontakt: reidun.pommeresche@norsok.no

Gras, korn, belgvekster og en del grønnsaker kan leve sammen med arbuskulær mykorrhizasopp. Dette samlivet kalles sopprot, fordi deler av soppene lever i plantenes rotceller og sopphyfene gjør rotnettet til plantene større. Her omtales plantenes partnervalg, dynamikk i samlivet og betydningen av samarbeidet for planten og soppene. Dyrket jord er en turbulent verden av varierende forhold som påvirker nydanning og opprettholdelse av dette samarbeidet. Sopprot er oftest fordelaktig for begge parter.



*Sopprot (mykorrhiza) kan dannes i røttene til gras, korn, kløver og ulike urter. Hyfene til soppene er veldig tynne og nesten umulige å se. Alle plantene på bildene kan danne sopprot, men vi vet ikke om de har gjort det på akkurat disse plantene. Foto: R. Pommeresche, NORSØK.*

## Innledning

Mykorrhiza, også kalt sopprot, er et spesielt samliv mellom en plante og en eller flere sopparter. Sopphyfene er tynne og gjør at plantens rotnett for vann- og næringsopptak øker, fordi hyfene bidrar. Soppene får karbohydrater fra planten, mens planten kan nyte godt av stoffer som soppene tar opp, samt andre vekstfremmende bidrag fra soppene. Kostnaden for plantene er at soppene bruker opptil 20 % av vertens fotosynteseprodukter for å etablere og vedlikeholde samarbeidet.

## Ulike typer sopprot

Sopprot er bare en del av alle de mikroorganismene, kalt mikrobiomet, som finnes på planterøtter. Det kan være 0-50 meter med mykorrhiza-hyfer i hvert gram jordbruksjord, da mest av typen endomykorrhiza som vokser og lever *inne i* planterotcellene og ut i jorda. I skogsjord finnes mest ektomykorrhiza, som vokser *mellom og utenpå* rotcellene. De typene endomykorrhiza som kalles arbuskulær mykorrhiza (AM), er evolusjonsmessig den eldste og mest vanlige formen av sopprot og omtales videre her.

## Mykorrhiza i økologisk og konvensjonelt drevet eng på Nordmøre

I jordprøver fra fire skifter fra to gårder på Nordmøre, 2 med langvarig (over 30 år) drevet eng og 2 med nydyrking med mindre enn fem års drift etter rydding av skog, ble det funnet 9 til 15 ulike arter av arbuskulær mykorrhiza (AM), se figuren under.

**SVE** = organic grassland (ley) several centuries in cultivation

**SVH** = conventional grassland (ley) several centuries in cultivation

**SVI** = recently cleared forest and taken into organic cultivation (grassland/ley)

**SVK** = recently cleared forest and taken into conventional cultivation (grassland/ley)

	SVE	SVH	SVI	SVK
Shannon's index for diversity: H	1.896	1.115	2.161	2.111
Shannon's index for equitability (evenness): $E_H$	0.763	0.508	0.798	0.800
number of 'species' in the site	12	9	15	14

	proportion ( $p_i$ ) of the total			
<i>Gigasporaceae</i> sp.	0.203	0.010	0.000	0.000
<i>Funneliformis mosseae</i> (sporocarpic)	0.004	0.000	0.036	0.049
<i>Funneliformis mosseae</i>	0.001	0.026	0.076	0.010
<i>Glomus badium</i> "type 2"	0.102	0.040	0.020	0.075
<i>Glomus rubiforme</i>	0.000	0.002	0.002	0.002
<i>Septoglomus jasnowska</i> sp. nov.	0.306	0.069	0.043	0.205
<i>Acaulospora lævis</i> or <i>A. capsicula</i>	0.091	0.005	0.035	0.000
<i>Funneliformis verruculosum</i>	0.067	0.693	0.001	0.010
<i>Entrophospora infrequens</i>	0.007	0.000	0.006	0.001
<i>Gl 291</i> sp. nov. tiny spored clusters	0.006	0.000	0.000	0.010
<i>Glomus constrictum</i> or alike	0.024	0.000	0.000	0.000
<i>Glomus sinuosum</i> or alike	0.030	0.000	0.001	0.051
<i>Acaulospora</i> like spores	n.d.	n.d.	n.d.	0.121
<i>Glomus badium</i>	0.000	0.000	0.055	0.187
<i>Glomus coronatum</i>	0.000	0.024	0.150	0.000
<i>Sacculospora baltica</i>	0.000	0.002	0.251	0.179
<i>Gl 292</i> sp. nov. or alike	0.000	0.000	0.181	0.010
small spores on organic debris	0.000	0.000	0.104	0.000
Unidentified	0.160	0.129	0.038	0.091

$p_i > 0.10$  are indicated in their colour

Figuren viser mangfold av arter mykorrhizasopp i nydyrket og lenge drevet jord under eng på Nordmøre (Ruissen 2013a, 2013b). Antall arter (number of «species» in the site) er antallet ulike arter sopp det er funnet sporer fra på hvert sted. Verdiene i tabellen (proportion) er andelen sporer fra hver art av totalmengden (=1, 000) på hvert sted. De artene og stedene det er mer enn 10 % av en art, er gitt farge på verdien i tabellen.

Det var 14-15 arter AM i eng på nydyrka jord, 12 i eng der det var drevet lenge økologisk og 9 i eng der det var drevet lenge konvensjonelt. Disse tallene stemmer bra med det som er kjent ellers i mykorrhizalitteraturen. Det var sporer fra soppene som ble identifisert. På begge gårdene er det melkeproduksjon og husdyrgjødsel (bløtgjødsel) blir brukt til gjødsling. I tillegg brukes det kunstgjødsel og noe sprøyting mot ugras på den konvensjonelle gården. Det er vårpløying og ganske lik etablering av eng på begge gårdene. Alle prøvene ble tatt i jord med eng som jevnlig pløyes. De nydyrka jordene var skog og dyrket opp mindre enn fem år før prøvene ble tatt. Engarealene ellers har vært del av melkeproduksjonsbruk og drevet i over 30 år.

Høy andel av tre arter ble funnet i den økologisk drevne enga (*Septoglomus jasnowskiae* sp. nov., *Gigasporaceae* sp., *Glomus badium* «type 2»). En art (*Funneliformis verruculosum*) dominerte med over 50 % av de soppsporene som ble funnet i den konvensjonelle enga. I de nydyrka jordene var det *Sacculospora baltica* som dominerte, både i det økologiske og det konvensjonelle systemet. Det er generelt ganske ulikt hvilke arter som dominerer i de nydyrka arealene sammenliknet med de som var drevet lenge. Det ble funnet seks ulike *Glomus*-arter på de fire jordene, men bare *G. badium* «type2», ble funnet i jorda i alle engsystemene.

Det var ulike AM- samfunn i de fire engene. Etter tiår med engdyrking har det blitt et annet samfunn av sopprot enn etter få år med dyrking. Flest arter var det i engene som ikke var drevet lengre enn i 5 år, kalt nydyrket. Det var imidlertid også en del arter mykorrhizasopp der det var drevet økologisk og konvensjonelt i over 30 år. Mengden sopprot ble ikke undersøkt.

---

## Flere sopparter i flerårig eng

I en undersøkelse av jord fra flere steder i Sentral-Europa fant forskerne flest sporer og ulike arter av arbuskulær mykorrhiza i jord under langvarig eng/beite. Det var færre arter i jord med 7-årig vekstskifte og færrest der vekstskiftet kun var mais etter mais (Oehl m. fl. 2003). De fant, slik som i den norske studien, at det var ulik sammensetning av arter i sopprot-samfunnene i de 3 ulike systemene. Noen arter ble påvist i alle plantesystemene, mens et par arter bare ble funnet i eng, og en sopprotart var bare i jorda med ensidig maisdyrking. I eng/beite fant de 20-25 arter, i jord med vekstskifte 13-18 og i jord med ensidig maisdyrking 8-10 arter. Totalt fant de 37 ulike arter arbuskulær mykorrhiza, hvorav 10 ikke var beskrevet før av vitenskapen. De samme forskerne har også registrert likheter og forskjeller mellom arts mangfold i økologisk og konvensjonelle systemer. De fant at noen arter sopprot fra naturlige økosystemer fremdeles var til stede etter

langvarig økologisk drift, men manglet der det var drevet lenge konvensjonelt (Oehl m. fl. 2004).

---

## Hvordan finner de hverandre?

Plantehormoner og passende kjemiske forhold spiller inn for at sopprot skal kunne dannes. Hormonene skilles ut fra røttene og fungerer som signalstoffer. Dette registrerer soppen og soppsporene stimuleres til å spire og vokse i retning av røttene. Innen soppen når røttene, reagerer celler som sitter utenpå røttene, og strukturelle endringer skjer for å slippe soppen inn i rotcellene.

Minst seks ulike hormongrupper styrer plantenes utvikling generelt og disse reagerer samtidig på endringer i miljøet. De rette signalstoffene må produseres av planten og disse må gjenkjennes og kobles sammen med riktig sopp før det kan dannes sopprot.

---

## Samliv med en eller flere sopparter

I naturen overlever de som er best tilpasset de forholdene som råder, dette gjelder også i landbruksjord. Det er en stadig tilpasning til de beste løsningene under gitte forhold. Slike prosesser tar tid og har romlige begrensinger, det kan ikke skje hvor som helst. En plante er avhengig av en potensiell mykorrhizasopp-partner. Noen mykorrhizasopper trives best sammen men noen få plantearter, mens andre er mer generalister og finnes på mange planter. Det finnes da en slags styring, men hva eller hvem det er som styrer er fremdeles ikke klarlagt og helt forstått.

Flere sopparter kan også danne sopprot i rotsystemet til samme plante. Dette kan ha betydning for funksjonell biodiversitet og stabilisering av økosystemene. Dersom de ytre forholdene endrer seg, er det flere sopparter som kan ta over rollen i symbiosen og planten blir mer robust for miljøendringer.

---

## Sopprot i gras, korn og grønnsaker

Mellom 70 og 90 % av verdens planter, inkludert bregner og moser, kan danne sopprot (Smith & Read 2008). Hvor vanlig arbuskulær sopprot er i norsk landbruksjord vet vi imidlertid lite om. Disse soppene danner ikke synlige sopphatter, og er kompliserte å studere. Det er et økende fokus på sopprot i landbruksjord generelt, så vi venter spent på nye funn og ny kunnskap. På verdensbasis er det over to hundre arter sopp som danner denne typen sopprot. Både ulike arter gras, korn og kanskje litt uventet flere ulike typer kløver, kan danne sopprot. Kløver er ellers mest kjent for å biologisk å binde nitrogen fra luften via bakterier i rotnodder. Utbredelsen i Norge er imidlertid ikke kartlagt, men norske studier er nevnt hos Ruissen (2013b).

## Kulturvekster som brukes i Norge kan danne mykorrhiza

Mykorrhiza-gruppen (phylum) Glomeromycota består av 14 slekter som alle, uttatt en, danner arbuskulær sopprot med planter. Blaszkowski (2012) har systematisert og beskrevet disse slektene og laget bestemmelsesnøkler til soppene. Vi har satt sammen en tabell med aktuelle norske plantearter og sjekket ut hvor mange ulike arter AM disse har ifølge Blaszkowski sitt arbeid.

Tabell med oversikt over antall arter arbuskulær mykorrhizasopp (AM) registrert på ulike plantearter (Blaszkowski, 2012).

Ikke alle plantearter aktuelle for norske forhold var nevnt i oversikten, de er i tabellen markert med spørsmålstegn.

Planteart	Latinsk navn på plante	Antall arter mykorrhizasopp knyttet til plantearten
<b>Grasarter</b>		
Flerårig raigras- italiensk	<i>Lolium multiflorum</i>	4 arter
Timotei	<i>Phleum pratense</i>	1 art
Engsvingel	<i>Festuca pratensis</i>	?
Rødsvingel	<i>Festuca rubra</i>	27 arter
Strandsvingel	<i>F. arundinacea</i>	21 arter
Sauesvingel	<i>F. ovina</i>	9 arter
Engrapp	<i>Poa pratensis</i>	8 arter
Tunrapp	<i>Poa annua</i>	7 arter
Engkvein	<i>Agrostis capillaris</i>	3 arter
<b>Kornarter / ettårig gras</b>		
Hvete	<i>Triticum aestivum L.</i>	45 arter
Bygg	<i>Hordeum vulgare</i>	13 arter
Havre	<i>Avena sativa</i>	8 arter
Rug	<i>Secale cereale</i>	7 arter
Raigras toårig	<i>Lolium perenne</i>	1 art
<b>Belgvekster</b>		
Rødkløver	<i>Trifolium pratense</i>	12 arter
Kvitkløver	<i>Trifolium repens</i>	22 arter
Luserne	<i>Medicago sativa</i>	19 arter
Sukkerert	<i>Pisum sativa</i>	6 arter
Lupin	<i>Lupus spp</i>	<i>L. albus</i> 1, <i>L. angustifolius</i> 4, <i>L. luteus</i> 8
<b>Andre</b>		
Honningurt	<i>Phacelia tanacetifolia</i>	?
Kålvekster	<i>Brassica rapa (Turnips)</i>	5 arter. Sies egentlig å ikke danne AM
Beter	<i>Beta vulgaris</i>	4 arter. Sies å ikke danne AM

Mange av de vanlige kulturplantene i Norge kan danne sopprot med flere ulike sopparter (Se tabellen over). For å danne sopprot, må en passende plante og sopp samarbeide og miljøforholdene må ligge til rette for det. Potensialet for sopprot i norsk jord er stort ut fra listen over plantearter som vi bruker i Norge. Det gjenstår å finne ut hvor mange av soppene vi har i norsk jord og hvordan kort vekstsesong, gjødsling, vekstskifte og jordarbeiding virker på sopprotdannelse under norske forhold.

## Hva består en arbuskulær sopprot av?

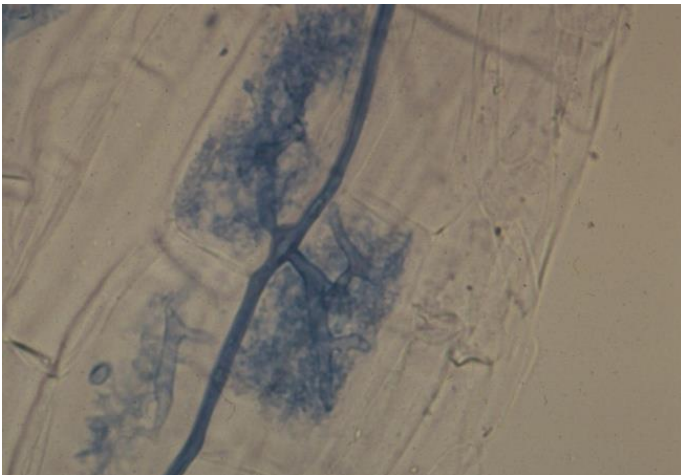
En arbuskulær sopprot består av strukturer som finnes inne i planterotcellene (intracellulære deler) og strukturer som finnes utenfor planterotcellene (ekstracellulære deler). De intracellulære delene er *arbuskler*, *vesikler* og *intracellulære hyfer*. De ekstracellulære delene er *hyfer* som vokser utover i jorda og mellom planterøttene, i tillegg til formeringsenheter, kalt *sporer*.



---

## Arbuskler finnes inne i planterotcellene

Arbusklene er finforgrenete, buskliknende, lungevevaktige strukturer av sopp som vokser inn i planterotcellene og består av ulike tynne, forgrenet rør. Det er via disse strukturene inne i plantecellene at næringsstoffer og vann utveksles mellom plante og sopp. Soppen har ofte mange slike arbuskler i flere celler av rotcotex på samme plante. Slike arbuskler er en indikasjon på at samlivet er aktivt, at plantene og soppen virkelig lever sammen og ikke bare ved siden av hverandre. Tykkelsene og formene på rørene og hvordan de forgrener seg og er bestemt av de ulike slektene og artene av AM og brukes til å artsbestemme hvilke mykorrhizasopp vi har med å gjøre.



*Den mest vanlige typen sopprot er arbuskulær mykorrhiza (AM). Her er soppen farget blå, og arbusklene ses tydelig som sterkt forgrenete strukturerer inne i rotceller hos hvete. Veggene til plantecellene skimtes som blanke firkanter rundt de tre blå arbusklene i bildet. Foto: Theo Ruissen.*

---

## Vesikler er soppens matlager

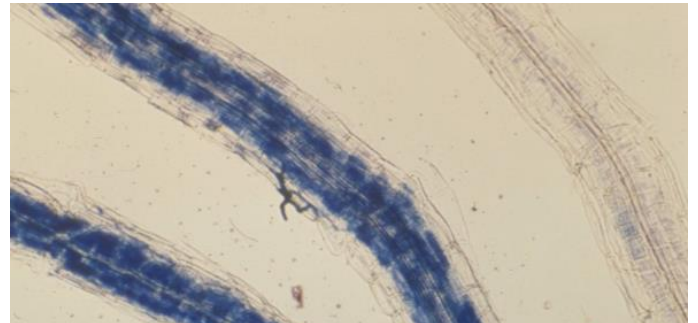
Vesikler er mykorrhizasoppens lagringsorgan i planterøttene. Det er små, elipseformede blærer med tynn vegg, fylt med lipider og glykolipider. De dannes ved at en hyfe inne i cellen eller mellom cellene sveller opp og utvider seg til en slik blære. *Glomus*-slekten danner elipseformede vesikler, mens *Acaulospora* og *Enterosporospora* danner ulike typer vesikler, noen med utvekster og groper. Noen arter lager ikke slike vesikler i det hele tatt.

---

## Økt næringsopptak hos planter

De ekstracellulære sopphyfene øker plantens areal for opptak av vann og næring betydelig. At mykorrhiza er viktig for næringsopptak hos planter er best kjent i naturlige og næringsfattige systemer. Arbuskulær mykorrhizasopp kan ta opp og overføre en rekke næringsstoffer fra jord til planter, eksempelvis P, N ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), K, Ca,  $\text{SO}_4^{2-}$ , Cu og Zn (Marschner og Bell, 1994, Bender m. fl. 2015). Soppene bidrar særlig til plantens fosforopptak. Eksempelvis kan planten både ta opp fosfor via egne rothår, men også via

soppens hyfer, altså på to ulike måter. Ofte dannes AM i rotceller litt bak celler med rothøtter, slik at opptaket også kan skje to steder. Detaljer om samspillet mellom de to måtene å ta opp fosfor på kan leses om hos Smith m. fl. (2011). Planten kan også ta opp vann gjennom mykorrhizasoppene. Hyfene kan også danne hyfebroer mellom ulike planter og frakte stoffer mellom plantene. Det gjenstår å avklare hvor mye sopprot betyr i mer næringsrik jord mht. næringsopptak. Forskning tyder på at sopprot reduserer utvasking av nitrogen og fosfor fra jord (Bender m. fl. 2015).



*Røtter fra hvete med mykorrhiza (blåfarget) i rotcellene på to røtter og en rot øverst til høyre uten. Foto: Theo Ruissen.*

---

## Bedrer jordstrukturen

Sopphyfene vever og kleber sammen mineralkorn i jorda til større, men fremdeles mikroskopiske aggregater (Tisdall m. fl. 1997). Sammen med røtter, roteksudater og andre stoffer som skilles ut i jorda av jordlivet, binder sopphyfene sammen jordpartikler til mer vannstabile (erosjonssikre) aggregater. Mellomrommene mellom disse gir så opphav til et stabilt nettverk av porer som hjelper til å holde på mer vann, men også til å drenere bort overflødig vann. Mer om sopprot og jordstruktur kan leses i artikkelen av Rillig & Mummey (2006).

---

## Sporene er soppens frø

Sporer er soppens formeringsenhet, de består av en celle med flere kjerner og dannes på sporeproduserende hyfedeler hos soppen. Sporene dannes ofte uten at det utveksles genmateriale mellom soppene, altså ved kloning/ukjønnnet formering. Det letes etter former for kjønnnet formering hos disse soppene, men det er ikke funnet mye som tyder på at det skjer, i alle fall ikke slik vi vanligvis definerer kjønnnet formering.

Siden veggene og oppbygningen av sporene er stabile over tid og under ulike miljøforhold, brukes sporer i stor grad i artsbestemmelse av mykorrhizasoppene. Hvordan sporene dannes og ser ut varierer mellom slektene av sopp, men innad i slektene er det vanskeligere å skille dem fra hverandre. Generelt er sporene runde, små kuler fra 30 til 500  $\mu\text{m}$  i diameter. Bilder av sporer finnes på nestsiste side.



*Røtter med mykorrhizasopp. De tykkeste strukturene er røtter (piler) og de tynneste (ulne strukturer) fremst i bildet er sopphyfer (rød sirkel). Soppens formeringsenheter heter sporer og ligger i hyfesekker kalt sporokarper (blå sirkler). Foto: Theo Ruissen.*

## En turbulent verden

Utenfor åkeren, i naturen, er det en viss naturlig styring og ofte flerårig perspektiv i samspillet mellom plante og mykorrhizasopp, der formålet er at begge parter skal overleve. Hvilke valgmuligheter gir vi plante og mykorrhizasopp i landbruksjord? Dyrket jord er en turbulent verden av varierende forhold som påvirker nydanning og opprettholdelse av dette samarbeidet. Det viser seg at vi ikke alltid vil lykkes med å tilføre en mykorrhizasopp til en plantebestand, dersom den naturlige ikke finnes der. En tilfeldig kombinasjon av plante og mykorrhizasopp resulterer ikke nødvendigvis i et langt og lykkelig samliv. Dette kan det leses mer om hos Hart m. fl. (2018).

## Tilby et passende miljø

Det er flere ting som kan gjøres for å stimulere til mer sopprot. Soppen trenger bl.a. næring i form av organisk materiale fra en passende vertsplante. Store eller hyppige forstyrrelser bør unngås. Sopphyfene lever ikke lenge uten at de er i kontakt med en levende plante, det er bare sporene som kan det.

Jordarbeiding mens soppen vokser vil bryte opp hyfenettverket og kan sette soppens vekst tilbake, fosforgjødsling gir mindre sopprotdannelse, mens økt plantemangfold gir økt mangfold av sopprot (Helgason m. fl. 1998, Jansa m.fl. 2006).

Hvor grensen går med hensyn til mengde og type fosforgjødsling og hvor mye mindre sopprot som ev. dannes variere med plantearter sorter og ulike typer symbioser

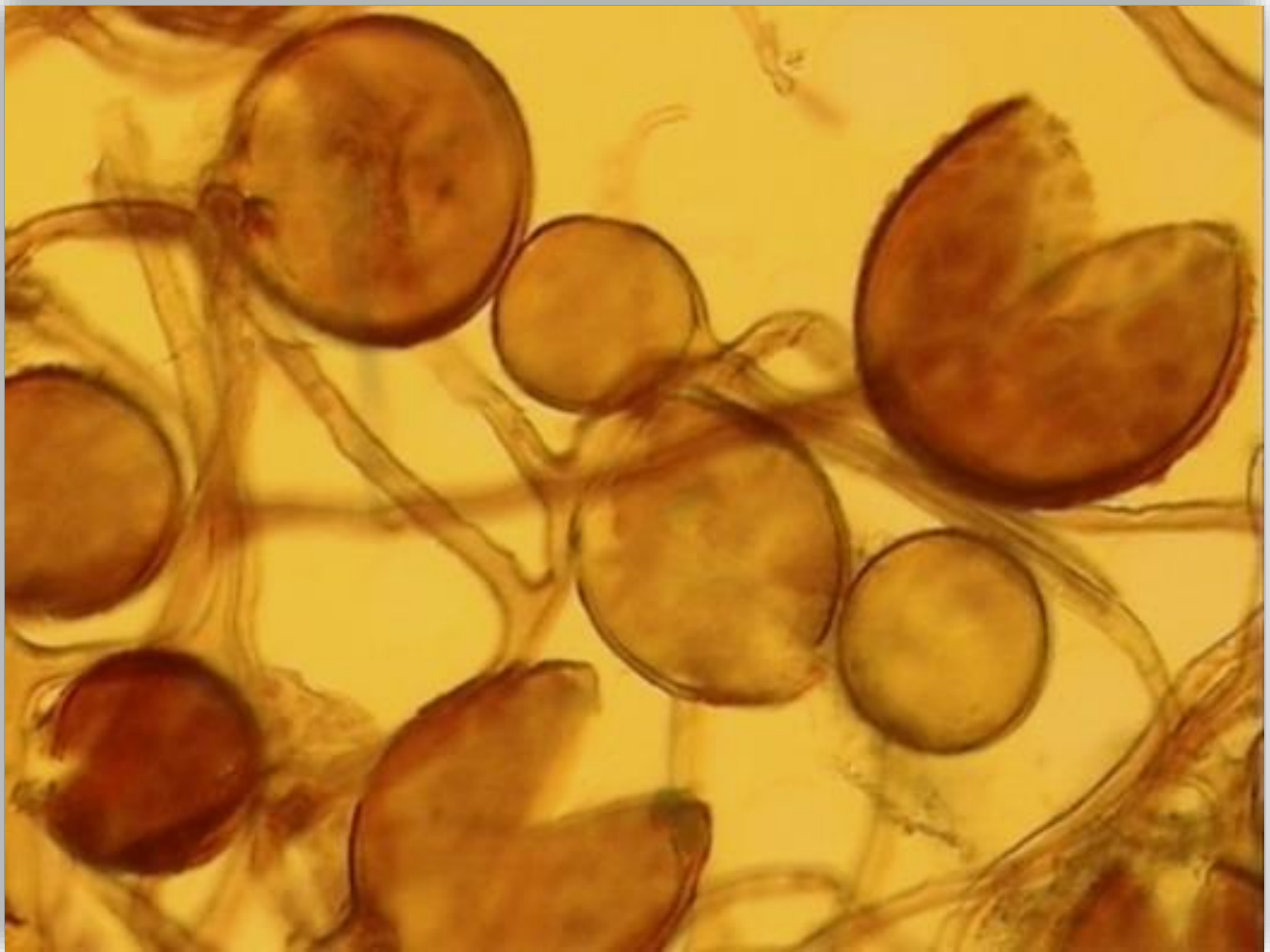
(Smith og Smith 2011). Det er ikke noen helt klar grense eller mønster for hvilke miljøfaktorer som bestemmer mengde og type kolonisering av mykorrhizasopp, fordi sopprot kan ha så mange ulike funksjoner.

## Plantemangfold og forkultur med sopprot

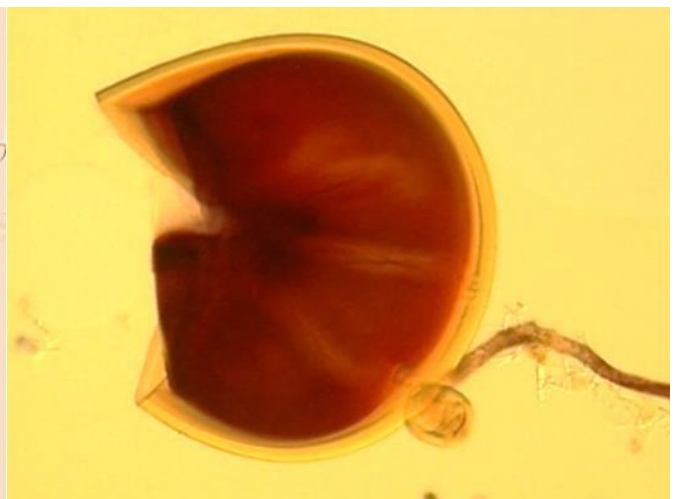
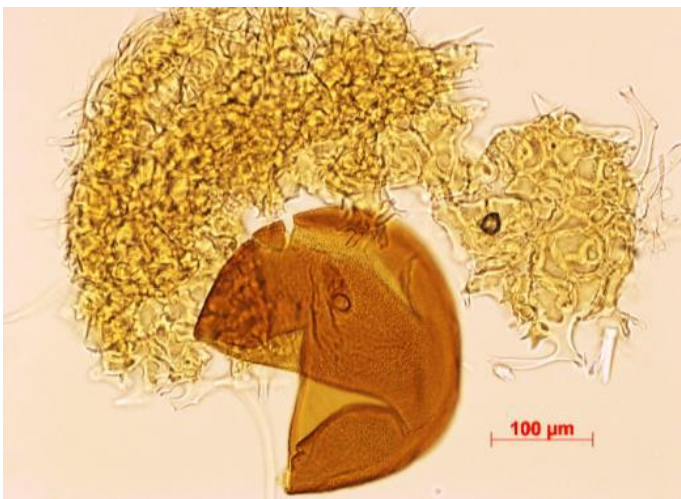
Ettårige vekster og mykorrhizasopp må møtes i jorda for å danne ny sopprot i løpet av vekstsesongen, så tiden er knapp, i alle fall i Norge. Det kan være sporer som spirer eller levende hyfer som vokser ut fra levende eller døde røtter. Antallet propaguler (levedyktige sporer og hyfebiter) per gram jord sier noe om jordas evne til å danne sopprot hos nye planter. Tettheten av propaguler avhenger blant annet av hvilke plantearter som har vokst på stedet de siste årene. Videre påvirkes antallet og mengden ny sopprot oftest negativt av økt intensitet i gjødsling og jordarbeiding, og dersom det finnes sopphemmende stoffer i jorda. Hvor grensene går for etablering vet vi ikke.

Forgrøde/planter som danner mye mykorrhiza (grasblandinger, kløver, belgvekster, løk, purre, lin m.fl.), kombinert med lav fosforgjødsling og skånsom jordarbeiding, vil gi raskest og sterkest soppkolonisering på nye vekster. En viss mengde ugras kan også holde mykorrhiza-populasjonen ved like, mens jorda ellers er uten planter. Et grønt plantedekke mesteparten av året i form av hovedkultur, fangvekster eller som undersådde vekster i korn anbefales for å vedlikeholde sopprot-samarbeidet i jorda. Vi vet ikke hvor mye sopprot vi har på kornet vårt, selv om potensialet for at korn kan danne sopprot er ganske godt dokumentert.





Sporer av *Septoglomus jasnowskiae*, en nylig beskrevet mykorrhizasopp, funnet flere steder på Nordmøre. Foto: Theo Ruissen



Bildet til venstre er en knust spore av mykorrhizasoppen, *Sacculospora baltica*, som dominerer på et nydyrkingsområde. Bildet til høyre er en knust spore av mykorrhizasoppen, *Scutellospora calospora*, som er mer vanlig i jordbruksjord som er drevet lenge, begge funnet på Nordmøre. Et fargestoff er brukt for å synliggjøre sporevegg-strukturer. Foto: Theo Ruissen.

## Referanser

- Bender, S. F., Conen, F. & M.G.A. Van der Heijden. 2015. *Mycorrhizal effects on nutrient cycling, nutrient leaching and N<sub>2</sub>O production in experimental grassland*. Soil Biology & Biochemistry, 80, 283-292.
- Blaszkowski, J. 2012. Glomeromycota. Polish Academy of Sciences. Bok.
- Hart, M.M., Antunes, P.M., Chaudhary, V.B. & Abbott, L.K. 2018. *Fungal inoculants in the field: Is the reward greater than the risk?* Funct. Ecol. 32, 126–135.
- Helgason, T., Daniell, T.J., Husband, R., Fitter, A.H. & Young, P. 1998. *Ploughing up the wood-wide web?* Nature, nr 394.
- Jansa, J., Wiemken, A. & Frossard, E. 2006. *The effects of agricultural practices on arbuscular mycorrhizal fungi*. Geological Society, Special Publication 266, 89-115.
- Marschner, H. og Dell, B- 1994. *Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis*. Plant and Soil 150, 89-102.
- Oehl, F., Sieverding, E., Ineichen, K., Mäder, P., Boller, T. & Wiemken, A. 2003. *Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe*. Applied and Environm. Microbiol. 2816-2824.
- Oehl, F., Sieverding, E., Mäder, P., Dubois, D., Ineichen, K., Boller, T. & Wiemken, A. 2004. *Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi*. Oecologia 138, 574-583.
- Rillig, M. & Mummey, D. 2006. *Mycorrhizas and soil structure*. New Phytologist 171, 41-53.
- Ruissen, T. 2013a. *Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Norwegian agriculture: a pilot study*. Agarica 33, 117-123.
- Ruissen, T. 2013b. *Arbuscular mycorrhizal fungi and their ecological roles: a review with a Norwegian perspective*. Agarica 33, 105-116.
- Smith, S. & Read, D. 2008. *Mycorrhizal symbiosis*. 3<sup>rd</sup> ed. Academic Press, San Diego.
- Smith, S., Jakobsen, I., Grønlund, M. & A. Smith. 2011. *Roles of Arbuscular mycorrhizas in plant phosphorous nutrition*. Plant Physiology 156, 1050-1057.
- Tisdall, J.M., Smith, S.E. & Rengasamy, P. 1997. *Aggregation of soil by fungal hyphae*. Aust. J. Soil Res. 35, 55-60.
- Les mer om biologisk jordstruktur, matjordas økosystem, jordliv, fangvekster, grønngjødsel, bakterier, sopp, encellede dyr, spretthaler og meitemark i egne temaark som finnes på [www.agropub.no](http://www.agropub.no)

# Mykorrhiza i landbruksjord

Nr. 6 | 2018

## NORSØK FAGINFO

Forsidefoto: Arbuskulær mykorrhiza hyfer i jord, Jan Jansa, Institute of Plant Science, Zürich.

Ansvarlig redaktør: Turid Strøm

Forfattere: Reidun Pommeresche og Theo Ruissen

ISBN: 978-82-8202-070-1

[www.norsok.no](http://www.norsok.no)